

Caracterização ao corte da ligação entre conector de GFRP e betão auto-compactável reforçado com fibras de aço

Rodrigo
Lameiras¹

Cláudia
Gonçalves²

Isabel
Valente³

Joaquim
Barros⁴

Miguel
Azenha⁵

RESUMO

A utilização de compósitos poliméricos reforçados com fibras (FRP) mostra-se bastante competitiva em aplicações específicas de engenharia civil. No caso de elementos estruturais mistos, de que são exemplo os painéis *sandwich* constituídos por duas lâminas de betão separadas por uma camada de isolamento ou as vigas mistas com perfil em FRP e laje de betão, é necessário utilizar conectores capazes de garantir o funcionamento conjunto dos elementos que constituem a secção, de forma a assegurar a transferência de esforços entre eles. Os conectores metálicos são a solução mais corrente em painéis *sandwich*, mas o uso de conectores de FRP apresenta potenciais vantagens que resultam das propriedades mais relevantes deste material: baixa condutibilidade térmica, baixo peso específico, imunidade à corrosão, bom amortecimento ao choque e bom isolamento eletromagnético. Neste trabalho, apresenta-se um novo tipo de conector de polímero reforçado com fibras de vidro (GFRP) a ser empregue em painéis de betão estruturais do tipo *sandwich*, e descrevem-se os ensaios experimentais preliminares realizados na Universidade do Minho para caracterizar o comportamento ao corte da respetiva ligação. Nos ensaios apresentados são utilizados conectores planos perfurados, embebidos em camadas de betão auto-compactável reforçado com fibras de aço (BACRFA). A utilização de BACRFA tem como objetivo dispensar a utilização de armaduras convencionais e a vibração do betão, o que se torna particularmente vantajoso quando a camada de betão tem uma espessura reduzida. De acordo com ensaios anteriormente realizados pelos autores, a utilização de BACRFA contribui ainda para aumentar a ductilidade da ligação. A configuração de ensaio utilizada baseia-se nas recomendações relativas ao ensaio de *push-out* descrito na NP EN1994-1-1, com algumas adaptações específicas. Por fim, o comportamento do conector testado é caracterizado pelos modos de rotura que lhe estão associados, pela curva carga versus escorregamento obtida no decorrer do ensaio e pela avaliação de parâmetros relevantes como a carga máxima.

Palavras-chave: Compósitos poliméricos reforçados com fibras de vidro (GFRP), Conectores, Betão auto-compactável reforçado com fibras de aço (BACRFA), *Push-out*

1. INTRODUÇÃO

O uso de painéis *sandwich* pré-fabricados de betão permite uma racionalização dos recursos energéticos necessários ao funcionamento de edifícios, uma vez que se utilizam painéis com coeficientes globais de transferência de calor que proporcionam reduzidas necessidades de

¹ ISISE, Univ. do Minho, Escola de Eng., Dep. de Eng. Civil, Guimarães, Portugal. rmlameiras@civil.uminho.pt

² ISISE, Univ. do Minho, Escola de Eng., Dep. de Eng. Civil, Guimarães, Portugal. a51309@alunos.uminho.pt

³ ISISE, Univ. do Minho, Escola de Eng., Dep. de Eng. Civil, Guimarães, Portugal. isabelv@civil.uminho.pt

⁴ ISISE, Univ. do Minho, Escola de Eng., Dep. de Eng. Civil, Guimarães, Portugal. barros@civil.uminho.pt

⁵ ISISE, Univ. do Minho, Escola de Eng., Dep. de Eng. Civil, Guimarães, Portugal. miguel.azinha@civil.uminho.pt

aquecimento/arrefecimento para garantia do conforto térmico interior. Estes painéis são tipicamente constituídos por duas camadas de betão armado, separadas por um núcleo de isolante térmico e ligadas entre si por conectores de aço e/ou regiões maciças de betão [1, 2]. Com esta tecnologia, as possibilidades de redução de espessura das camadas de betão são frequentemente limitadas pelas exigências mínimas de recobrimento da armadura. Além disso, estes conectores de elevada condutibilidade térmica atravessam a camada de isolamento, tendo como consequência negativa a criação de uma ponte térmica entre as duas camadas de betão, a diminuição da eficiência térmica do painel e, possivelmente, ocasionando problemas relacionados com condensação superficial [3, 4].

Para contornar as limitações do sistema convencional, os autores propuseram em trabalhos anteriores um painel inovador e termicamente eficiente para ser utilizado como parede estrutural em sistemas de habitação pré-fabricada modular [5, 6]. O painel proposto é composto por duas camadas de pequena espessura de betão auto-compactável reforçado com fibras de aço (BACRFA) que são ligadas por conectores de polímero reforçado com fibras de vidro (GFRP). A escolha do BACRFA está relacionada com as vantagens inerentes de se utilizar este material em alternativa ao betão com armadura convencional. Em primeiro lugar, ele permite uma redução da espessura das camadas de betão, uma vez que não requer um recobrimento mínimo de armaduras. Outra vantagem está no facto de dispensar tarefas como a montagem e colocação de armaduras, a vibração e o nivelamento do betão na linha de produção, eliminando os custos associados a estas atividades. Além disto, o BACRFA apresenta propriedades que o tornam atrativo para esta aplicação em painéis pré-fabricados de fachada, dado poder apresentar uma maior tenacidade, resistência ao impacto e maior estanqueidade à água, devido ao melhor controlo da abertura de fendas proporcionado pelas fibras. O GFRP foi escolhido como o material a ser empregue nos conectores devido à sua baixa condutibilidade térmica, evitando a formação de pontes térmicas na envolvente do edifício. O seu uso também é apropriado devido a sua imunidade à corrosão, uma vez que as espessuras das camadas de betão serão reduzidas e não haveria como garantir os recobrimentos mínimos exigidos na regulamentação vigente.

Um desafio no desenvolvimento deste sistema é o de estabelecer uma ligação adequada entre os conectores de GFRP e as camadas de pequena espessura de BACRFA. Estes conectores devem permitir a transferência de forças de corte entre o GFRP e os panos de BACRFA, além de resistir às forças que tendam a causar a separação transversal entre eles. Esta ligação influencia o comportamento do painel *sandwich* em termos de resistência, rigidez e deformabilidade. Por se tratar de um sistema inovador, é importante compreender o comportamento mecânico dos conectores propostos, de forma a que se possa garantir a capacidade resistente necessária e um comportamento relativamente dúctil quer do conector, como do painel. Pode-se dizer que o comportamento ideal para estes conectores seria sofrer um escorregamento muito reduzido para as cargas de serviço, de modo a garantir um elevado nível de interação entre os panos do painel, e apresentar um comportamento dúctil para o estado limite último, de forma a garantir a redistribuição do esforço de corte ao longo do painel, permitindo mobilizar uma maior capacidade resistente do mesmo.

Em estudos anteriores realizados pelos autores [5] foi estudado o comportamento de diferentes geometrias de conectores realizados em GFRP quando sujeitos a ensaios de tipo *pull-out* (aplicação de forças transversais que tendem a causar a separação entre o conector e a camada de betão). No entanto, até o momento nenhum estudo foi realizado para compreender o comportamento do conector analisado na transmissão de forças de corte.

O presente artigo foca o comportamento mecânico das conexões GFRP-BACRFA desenvolvidas para os painéis *sandwich* pré-fabricados isolados proposto pelos autores. Os estudos são realizados com um conector que consiste numa placa lisa realizada em GFRP onde se introduzem aberturas circulares na zona que fica embebida no elemento de BACRFA. Esta solução foi escolhida por ter apresentado um comportamento mecânico adequado nos ensaios de arrancamento previamente realizados [5] e por apresentar uma geometria que garante uma economia de material e proporciona uma simplicidade de fabrico que se destacaram em relação a outras tipologias analisadas. A viabilidade do uso do conector proposto é avaliada através de um programa experimental que consiste na realização de uma série de ensaios de tipo *push-out* onde os modos de rotura e a capacidade de carga são analisadas.

2. DESCRIÇÃO DO CONECTOR PROPOSTO

O conector proposto pelos autores tem por base os conectores *Perfobond* de aço utilizados em estruturas mistas de aço e betão (ver Fig. 1a). Este conector foi inicialmente proposto pela empresa alemã Leonhardt, Andrã and Partners no final dos anos 80 [7], e consiste numa chapa plana de aço onde se incluem aberturas circulares. Foram já realizados diversos estudos [8, 9] que abordam o seu comportamento experimental. Nestes conectores, a transmissão do esforço de corte é feita através dos pinos de betão que se mobilizam nas aberturas da chapa metálica. A resistência última decorre de quatro fenómenos: a resistência frontal do conector, o corte dos pinos de betão que se formam nas aberturas do conector, o corte longitudinal da camada de betão na linha do conector e a contribuição da armadura disposta transversalmente ao conector [10]. No caso desta armadura não existir, é necessário garantir que existe forma de transmitir as forças transversais que se mobilizam na camada de betão, o que neste caso poderá ser conseguido através das fibras distribuídas na matriz de betão.

Por sua vez, o conector proposto pelos autores possui particularidades que podem modificar/limitar o seu comportamento mecânico: 1) O emprego de GFRP em vez de aço pode alterar a capacidade de carga da conexão uma vez que se altera o comportamento, os modos de rotura e a capacidade resistente do próprio conector, independentemente do tipo de betão que é utilizado. Além disso, o GFRP é um material anisotrópico, cujas propriedades dependem significativamente da quantidade e disposição das fibras utilizadas no laminado, pelo que a distribuição de tensões no GFRP ocorre em função dos parâmetros referidos, podendo modificar o comportamento geral da conexão; 2) A limitação da espessura das camadas de BACRFA a 60mm (ver [6]) limita e condiciona toda a geometria do conector, incluindo: diâmetro do furo, dimensões do conector nas proximidades do furo, recobrimento de betão e profundidade de embebimento dos pinos de betão formados no conector; 3) O uso do BACRFA, em detrimento do betão convencional, pode conduzir a mudança no comportamento da conexão, principalmente pelo facto de proporcionar um maior confinamento do conector mesmo após a formação de fendas nas camadas de betão e devido à contribuição das fibras no comportamento ao corte do betão que forma os pinos responsáveis pela transmissão da carga.

3. METODOLOGIA E PROGRAMA EXPERIMENTAL

Nesta pesquisa, o comportamento do conector em GFRP inserido num elemento maciço de BACRFA foi analisado através do ensaio de *push-out* que é descrito em detalhe na NP EN 1994-1-1 [11]. Este ensaio é comumente utilizado para caracterizar a conexão aço-betão em estruturas mistas. O ensaio consiste na aplicação de carga descendente aplicada num perfil metálico onde existem conectores metálicos soldados em cada um dos seus banzos (ver Fig. 1b).

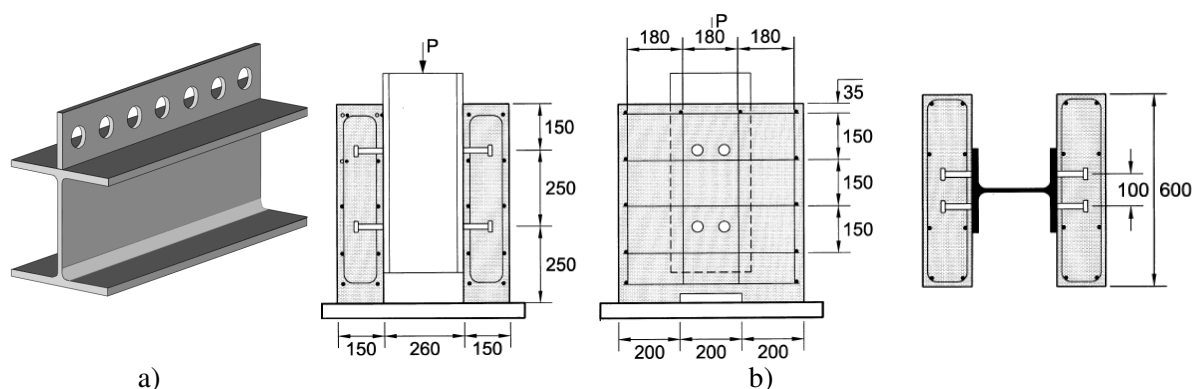


Figura 1. a) Representação esquemática de um conector Perfobond [12]; b) ensaio de tipo *push-out* segundo o NP EN 1994-1-1 [11]: vista frontal, vista lateral e planta.

Cada um destes conectores está embebido numa camada de betão. Durante a realização do ensaio, a carga é transmitida do perfil metálico para as camadas de betão unicamente através dos conectores metálicos. Optou-se pela realização deste tipo de ensaio por ser de montagem relativamente simples,

requerer uma prensa convencional e permitir estabelecer uma relação direta entre a força aplicada a cada conector existente no provete testado e o correspondente escorregamento medido entre o conector e a camada de betão.

3.1 Fabrico e geometria dos provetes

A fabricação dos provetes inicia-se pela produção dos conectores em GFRP. Todos os conectores foram produzidos pelo Pólo de Inovação em Engenharia de Polímeros (PIEP) nas suas instalações. Optou-se pelo emprego da técnica de moldagem por transferência de resina por vácuo (*Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding* – VARTM). Esta técnica consiste na colocação das camadas de fibra de vidro seca no interior de um molde que é fechado e onde é injetada resina a baixa pressão por vácuo (ver Fig. 2). Optou-se pela adoção do VARTM por ser uma técnica com custo relativamente baixo que permite a obtenção de um compósito com uma grande quantidade de fibras, uma adequada impregnação das mesmas, um bom acabamento das peças e boa reprodutibilidade dimensional. Depois do endurecimento da resina, a placa foi cortada com as dimensões desejadas e os orifícios circulares foram executados com recurso a uma serra circular.

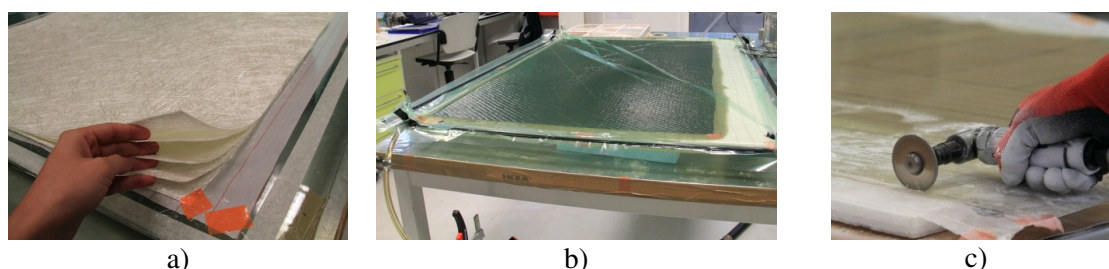


Figura 2. Processo de fabrico dos conectores em GFRP através da técnica de VARTM: a) disposição das camadas de reforço em fibra de vidro; b) injeção da resina; c) corte dos provetes.

A etapa seguinte consiste na betonagem das duas camadas de BACRFA destinadas à produção de provetes para o ensaio de tipo *push-out*. De forma a conseguir avaliar o comportamento da conexão a ser utilizada nos painéis propostos, optou-se por camadas de BACRFA com 60 mm que corresponde à espessura que foi prevista para os panos dos painéis *sandwich*. Uma vez que a distribuição das fibras de aço no BACRFA é muito influenciada pelo fluxo de betonagem [13], para que o BACRFA obtido nas camadas de betão dos provetes fosse representativo do BACRFA utilizado na confecção dos painéis, optou-se por realizar a betonagem das camadas de betão em posição horizontal. Os provetes foram obtidos através da junção de duas metades, sendo ambas da mesma amassadura. Para tal, cada uma das camadas de BACRFA foi betonada com um conector de GFRP, conforme se mostra na Fig.3. Posteriormente, as duas metades do provete foram unidas por perfis metálicos aparafusados entre si (Fig. 3e). Estes perfis metálicos são empregues tanto para concretizar a união do provete, como para aplicar a carga ao provete durante o ensaio. Os perfis de aço utilizados correspondem a dois segmentos de perfil UPN140 com 350mm de comprimento. A união dos dois perfis dá-se através de 12 parafusos M8 igualmente espaçados ao longo da alma dos perfis. Para garantir que a carga fosse transmitida de forma mais uniforme possível entre as superfícies dos perfis metálicos e dos GFRPs, foram realizadas texturas na zona exterior das almas dos perfis UPN140 (Fig. 3). Os provetes foram realizados pela CiviTest nas suas instalações.

3.2 Programa experimental

O programa experimental consistiu na realização de 5 ensaios *push-out*. Para avaliar a contribuição do BACRFA localizado à frente do conector, foram utilizados dois tipos de provete: com rasgo (CR) e sem rasgo (SR) na camada de betão, conforme pode ser visto na Fig. 4a e 4b. Os rasgos feitos nos provetes CR são de 1cm de largura, atravessam toda a espessura da camada de betão e se prolongam da base dos provetes até o GFRP. O efeito dos pinos de BACRFA no comportamento das conexões também foi analisado através de ensaios com conectores sem furos (SF) e com furos (CF) (ver Fig. 4c).

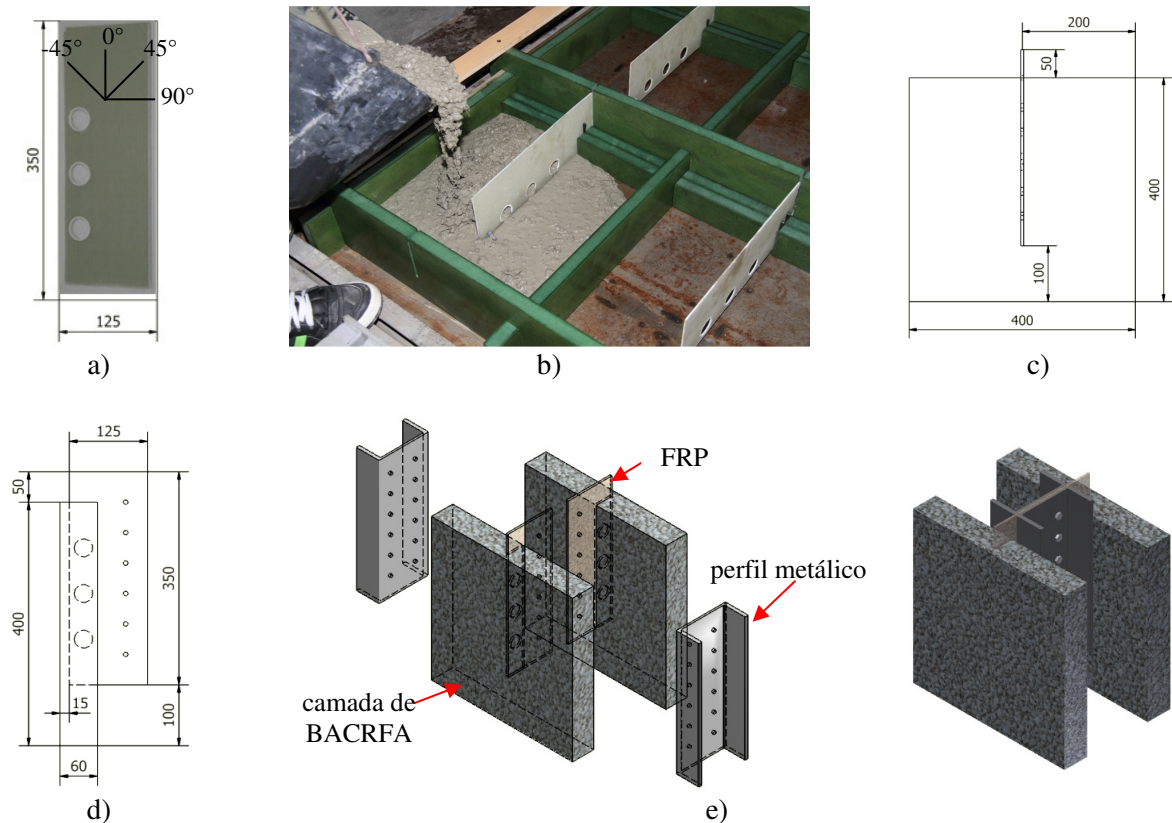


Figura 3. Fabrico dos provetes: a) conector de GFRP empregue; b) betonagem dos provetes; c) vista frontal do provete; d) vista lateral do provete; e) representação da montagem de um provete. (medidas em mm).

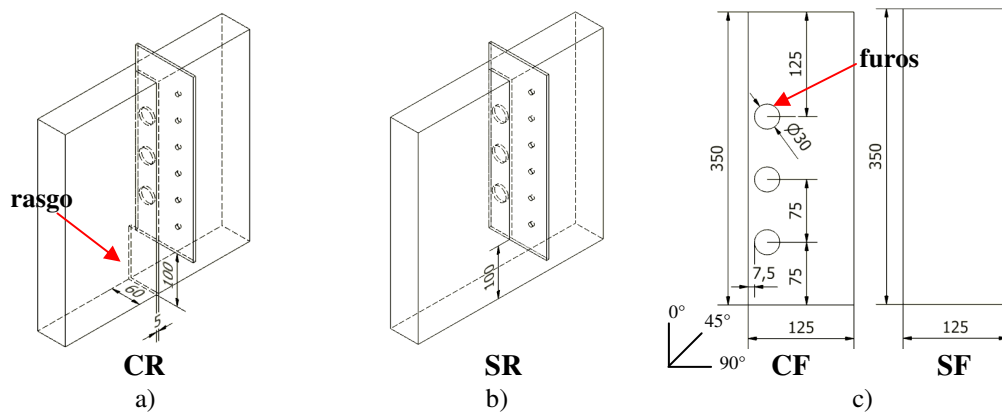


Figura 4. Configurações dos ensaios realizados: a) provete com rasgo (CR); b) provete sem rasgo (SR); c) geometria dos conectores estudados: com furos (CF) e sem furos (SF). (medidas em mm).

3.3 Propriedades dos materiais

3.3.1 GFRP

Os conectores utilizados foram produzidos utilizando mantas constituídas por fibras contínuas direcionadas em fibra de vidro tipo *E*. Este material foi escolhido por combinar uma resistência elevada com um custo relativamente reduzido. O laminado foi obtido dispondo diversas camadas de manta, de acordo com a configuração apresentada na Fig. 5a. A quantidade total de fibras para cada uma das direções foi de aproximadamente: 600g/m² na direção 0°, 600g/m² na direção 90°, 2400g/m² na direção +45° e 2400g/m² na direção -45°. A matriz polimérica empregue consistiu numa resina de poliéster que foi utilizada em quantidade suficiente para impregnar as fibras. A espessura total do laminado era de aproximadamente 5 mm.

Caracterização ao corte da ligação entre conector de GFRP e betão auto-compactável reforçado com fibras de aço

Os ensaios de tração direta foram executados com provetes representativos dos laminados produzidos neste programa experimental, de forma a determinar a resistência à tração, módulo de elasticidade e a relação até a rotura entre tensão e deformação. Ao todo foram produzidos 6 provetes com 250 mm de comprimento e 25 mm de largura. Os ensaios foram realizados na direção 0° . Para determinar as deformações longitudinais dos provetes colocou-se um clip-gauge com comprimento de referência de 50 mm a meia altura de cada um dos provetes (ver Fig. 5b). Para garantir uma ancoragem apropriada do provete durante o ensaio e melhor distribuir as tensões das amarras, foram coladas placas retangulares de aço nas extremidades de todos provetes. As curvas tensão-extensão são apresentadas na Fig. 5c. O valor médio da resistência à tração obtida nos ensaios foi de 146.78 MPa (desvio padrão de 11.37 MPa). Os provetes apresentaram uma deformação média correspondente ao pico de 26848.02 $\mu\epsilon$ (desvio padrão de 608.98 $\mu\epsilon$). O módulo de elasticidade médio obtido foi de 8.98 GPa (desvio padrão de 0.4 GPa).

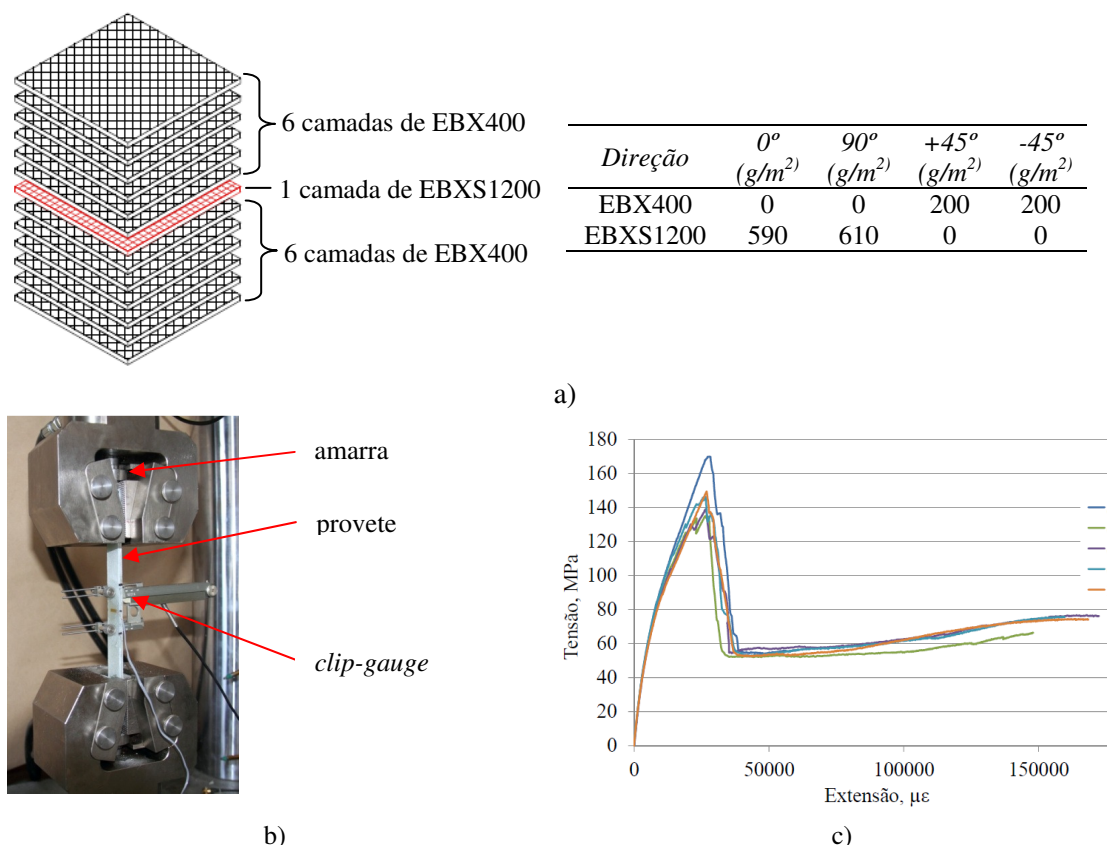


Figura 5. Caracterização dos laminados de GFRP utilizados: a) representação esquemática da laminação do GFRP empregado; b) configuração do ensaio de tração direta; c) curvas carga vs. deformação na direção 0° .

3.3.2 BACRFA

A composição do BACRFA utilizado encontra-se apresentada no Quadro 1, sendo a dimensão máxima do agregado igual a 12 mm e a origem das areias quartzítica. A fibra utilizada é de aço trefilado com tensão de cedência de 1300 MPa, com extremidades dobradas, 37 mm de comprimento e 0.5 mm de diâmetro, ao que corresponde um fator de forma de 74. Foi utilizado um aditivo superplastificante Viscocrete 3002HE da Sika para alcançar as características de auto-compactabilidade desejadas. Esta composição foi desenhada pela CiviTest e o BACRFA foi produzido nas suas instalações.

Quadro 1 – Composição de 1 m³ de BACRFA.

Cimento CEM II 42.5 R (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Superplas- tificante (dm ³ /m ³)	Fíler Calcário (kg/m ³)	Areia Fina (kg/m ³)	1/2 Areia (kg/m ³)	Brita (kg/m ³)	Fibras (kg/m ³)
413	125	7.83	353	179	655	588	60

Os requisitos de auto-compactabilidade do BACRFA foram avaliados por intermédio da execução do cone de Abraham invertido, tendo-se obtido o valor médio do espalhamento de 740 mm. Foram utilizados 3 provetes cilíndricos com 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura para determinar a resistência à compressão e o módulo de elasticidade do BACRFA. O valor médio obtido para a resistência à compressão foi de 60.68 MPa e para o módulo de elasticidade obteve-se um valor de 38.25 GPa.

3.4 Configuração, procedimentos de ensaio e instrumentação

Todos os ensaios foram realizados em duas etapas: primeiro aplicou-se 10 ciclos de carga e descarga entre os patamares de 0 e 5 kN. Depois foi imposta uma deformação definida a partir de uma velocidade constante do êmbolo igual a 0.1 mm/min. Os escorregamentos relativos entre as camadas de BACRFA e o GFRP foram medidos em ambas as camadas por meio de 6 transdutores lineares de deslocamento (LVDT). Os escorregamentos são calculados de duas formas: 1) diretamente entre o GFRP e a camada de betão na parte superior do provete e 2) subtraindo-se o escorregamento relativo do perfil metálico com relação ao GFRP na parte superior do provete, ao escorregamento entre o perfil metálico e a camada de betão, cuja medição é feita a meia altura do provete (ver Fig. 6a). Para evitar o afastamento excessivo das bases das lajes de betão ao longo do ensaio, foram utilizadas duas barras metálicas ligadas entre si por varões roscados, conforme é mostrado na Fig. 6a.

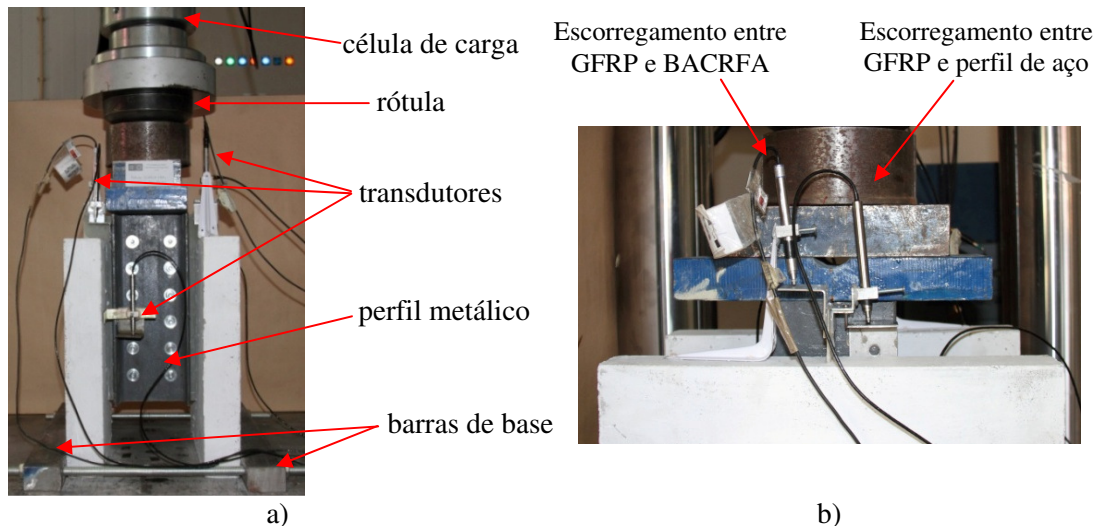


Figura 6. Montagem e instrumentação do ensaio: a) foto do ensaio em curso; b) detalhe da instrumentação.

4. RESULTADOS

4.1 Modo de rotura

Em todos os ensaios realizados, surge uma fenda longitudinal na camada de BACRFA que se desenvolve a partir das proximidades da extremidade inferior do conector (Fig. 7). Esta fenda propaga-se ao longo da camada de betão até alcançar a parte superior do provete, à medida que o valor da carga aplicada aumenta. No caso dos provetes sem rasgo nas camadas de betão, também se verifica o surgimento de fendas decorrentes do elevado estado de tensão no betão localizado à frente do conector (Fig. 7a). Nos provetes com rasgo, este tipo de fendilhação não chega a ocorrer e o conector tende a atravessar a camada de betão e penetrar na zona do rasgo não se mobilizando uma resistência frontal.

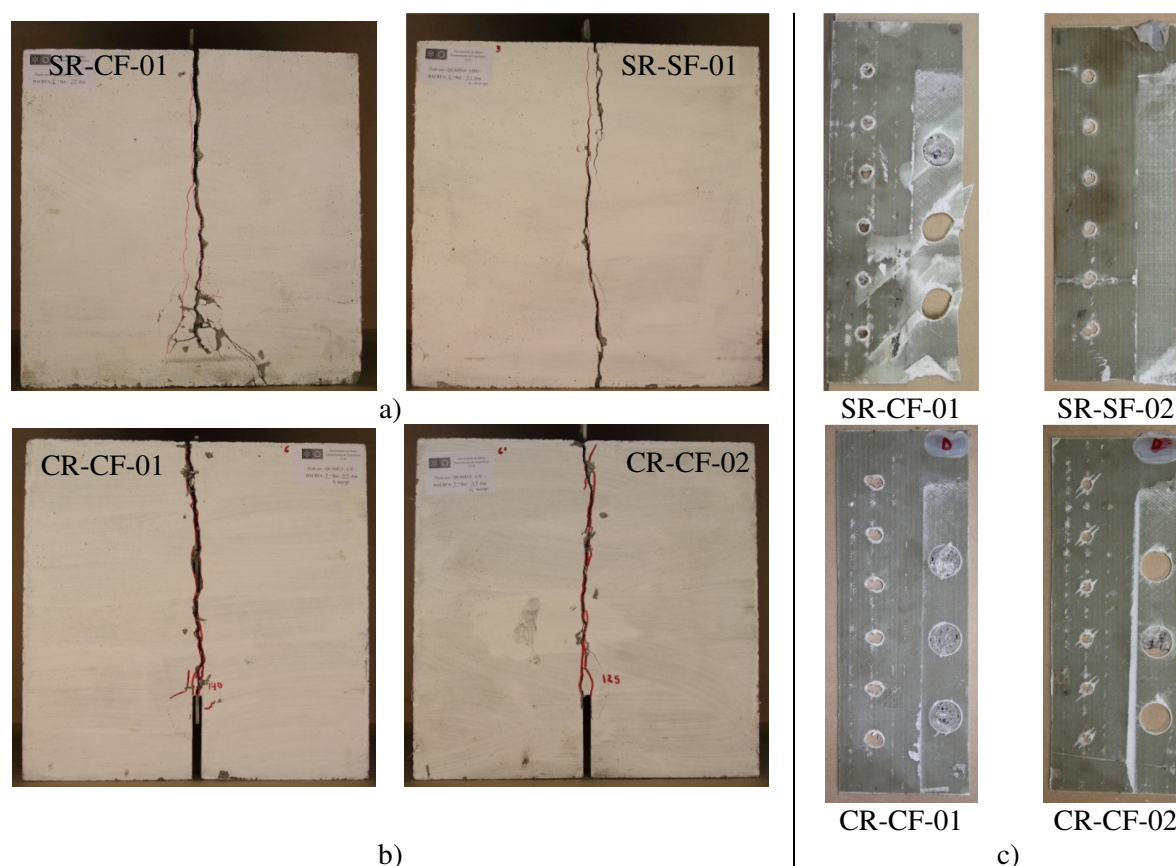


Figura 7. Modos de rotura: a) evolução da fendilhação nas camadas de betão em provetes SR; b) evolução da fendilhação nas camadas de betão em provetes CR; c) aspecto visual dos GFRPs após a realização dos ensaios.

Após o ensaio, todos os conectores utilizados nos provetes de tipo SR, com ou sem furos, apresentam dano na parte frontal do provete. Apesar de haver este dano provocado pela mobilização da resistência frontal, não há sinal de desfragmentação em nenhum dos GFRPs, o que possivelmente indica que as capacidades de carga dos provetes não são limitadas pela resistência dos conectores. No caso do provete SR-CF, além do dano nos conectores causado pela resistência frontal ter sido aparentemente maior, os GFRPs também apresentam dano nas proximidades dos furos (ver Fig. 7c). Já os conectores dos provetes com rasgo não apresentam nenhum dano ao final do ensaio.

4.2 Capacidades de carga e comportamento carga vs. escorregamento

No Quadro 2 são apresentados os resultados dos ensaios realizados.

Quadro 2. Resultados dos ensaios de *push-out*.

Designação	Carga máxima por conector [kN]
SR-CF-01	120.25
SR-SF-01	80.29
SR-SF-02	109.69
CR-CF-01	56.43
CR-CF-02	77.22

Na Fig. 8 são apresentadas as curvas que relacionam carga e escorregamento para os provetes testados. Na Fig. 8a são apresentados os resultados dos ensaios com os provetes constituídos por camadas de BACRFA sem rasgo (incluindo conectores com e sem furos, CF e SF, respectivamente). Os gráficos representam a relação entre a carga por conector e o escorregamento relativo. Quando se compara as capacidades de carga de ambos os conectores ensaiados nota-se que o efeito dos pinos é

bastante significativo, proporcionando um ganho médio de 21% na capacidade de carga do conector. Observa-se também que o provete constituído por um conector com furos apresenta melhor capacidade de retenção de carga após o pico quando comparado com os provetes com conectores lisos sem aberturas.

Na Fig. 8b são apresentados os resultados dos ensaios com os provetes constituídos por camadas de BACRFA com rasgo, comparando-as com a solução SR-CF. Nota-se que a capacidade de carga do conector nesta configuração de ensaio é bastante reduzida por não ser possível mobilizar a resistência frontal no conector que resulta do seu contacto com a camada de BACRFA quando se inicia o escorregamento. A partir dos resultados obtidos é possível concluir que a resistência frontal é, em média, responsável por 44.4% da capacidade de carga destes conectores.

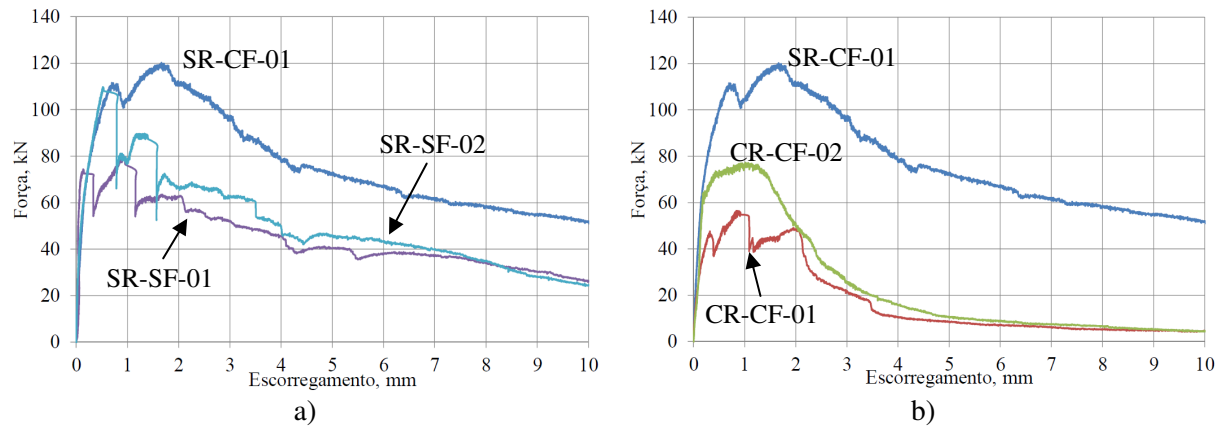


Figura 8. Comportamento típico dos conectores: a) resultados dos ensaios com conectores sem rasgo (SR); b) resultados dos ensaios com conectores com furos (CF).

CONCLUSÕES

O presente trabalho apresenta os resultados de um estudo experimental realizado com o intuito de caracterizar o comportamento ao corte entre camadas de pequena espessura de BACRFA e um conector de GFRP a ser empregue em painéis de betão estruturais do tipo *sandwich*. O estudo inclui ensaios de caracterização dos materiais utilizados no fabrico dos provetes e a realização de 5 ensaios de tipo *push-out* onde são analisados os modos de rotura, a capacidade de carga e a relação entre força aplicada e escorregamento dos conectores analisados. A contribuição dos pinos de betão é avaliada através da comparação de provetes constituídos por conectores com e sem furos. Também se avalia a resistência frontal dos conectores comparandoos resultados obtidos em provetes com e sem rasgo. Com base nos resultados experimentais é possível concluir que, especificamente para os materiais e geometria dos provetes empregues, a capacidade de carga das conexões estudadas é essencialmente limitada pela resistência da camada de betão. Verifica-se que os pinos proporcionam, em média, um ganho de 21% na capacidade de carga do conector. Observa-se também que, em geral, o provete constituído por um conector com furos apresenta melhor capacidade de retenção de carga após o pico quando comparado com os conectores sem aberturas. Quando comparadas as respostas dos provetes com e sem rasgo, nota-se que o valor médio da capacidade de carga do conector na configuração sem rasgo é inferior em cerca de 44%. O estudo apresentado tem um carácter exploratório, ainda com poucas repetições, não permitindo tirar ilações definitivas relativamente aos efeitos de cada um dos aspectos estudados. Prevê-se a realização de mais ensaios num futuro próximo.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é parte de um projeto de pesquisa QREN número 5387, LEGOUSE. Agradece-se também o contributo e apoio fornecido pelas empresas parceiras: Mota Engil, Civitest e PIEP. O

suporte financeiro da FCT também é reconhecido pela bolsa individual de doutoramento concedida ao primeiro autor SFRH/BD/64415/2009 e pelo suporte financeiro à unidade de investigação ISISE.

REFERÊNCIAS

- [1] T.D. Bush, G.L. Stine (1994). Flexural Behaviour of Composite Precast Concrete Sandwich Panels With Continuous Truss Connectors, *Precast/Prestressed Concrete Institute Journal*, 39.112-121.
- [2] A. Benayoune [et al.] (2008). Flexural behaviour of pre-cast concrete sandwich composite panel – Experimental and theoretical investigations, *Journal of Construction and Building Materials*, 22. 580-592.
- [3] B.-J. Lee, S. Pessiki (2008). Revised zone method R-value calculation for precast concrete sandwich panels containing metal wythe connectors, *Precast/Prestressed Concrete Institute Journal*, 53 86-100.
- [4] J. Keenahan [et al.] (2012). Numerical assessment of the thermal performance of structural precast panels, in: *Numerical modeling strategies for sustainable concrete structures - SSCS*, Aix-en-Provence, pp. 10.
- [5] R.M. Lameiras [et al.] (2012). Fibre reinforced polymer (FRP) connectors for steel fibre reinforced self-compacting concrete (SFRSCC) sandwich panels, in: *6th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE 2012)*, Rome.
- [6] R.M. Lameiras [et al.] (2012). Sandwich structural panels comprising thin-walled Steel Fibre Reinforced Self-Compacting Concrete (SFRSCC) and Fibre Reinforced Polymer (FRP) connectors, in: *8th RILEM International Symposium on Fibre Reinforced Concrete (BEFIB 2012)*, Guimarães.
- [7] W. Zellner (1987). Recent designs of composite bridges and a new type of shear connectors, in: N.H. Henniker (Ed.) in: *IABSE/ASCE Engineering Foundation Conference on Composite Construction*, pp. 240-252.
- [8] E.C. Ogueijiofor, M.U. Hosain (1994). A parametric study of perfobond rib shear connectors, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 21. 614-625.
- [9] I. Valente, Isabel B., Cruz, Paulo J. S. (2009). Experimental Analysis of Shear Connection between Steel and Lightweight Concrete. *Journal of Constructional Steel Research*, nº 10/11, Vol 65, p. 1954-1963.
- [10] G.S. Veríssimo [et al.] (2007). Avaliação do desempenho de um conector de cisalhamento em chapa dentada para estruturas mistas de aço e concreto, in: *CMNE/CILAMCE 2007*, Porto.
- [11] CEN (2004). Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures (EN 1994-1-1:2004), Brussels.
- [12] P.J.S. Cruz [et al.] (2006). Desenvolvimentos recentes no domínio da conexão aço-concreto no contexto das estruturas mistas, in: *VI Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto*, São Paulo.
- [13] F. Laranjeira [et al.] (2012). Framework to predict the orientation of fibers in FRC: A novel philosophy, *Cement and Concrete Research*, 42, 752-768.